



MINISTERIO DEL AIRE
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION DE VUELO

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

PUBLICACIONES

Serie **A** (Memorias), núm. **14**

PRIMEROS RESULTADOS DE LOS SONDEOS TERMODINAMICOS DE LA TROPOSFERA EN BALEARES

POR

INOCENCIO FONT TULLOT

Meteorólogo, Licenciado en Ciencias Físicas, Capitán Asimilado del Ejército
del Aire, Jefe del Observatorio Aerológico de Izaña (Tenerife)

SECCION DE AEROLOGIA
Apartado 285. — MADRID
1 9 4 3

AEMET-BIBLIOTECA



1013111

© Agencia Estatal de Meteorología. 2018

Sig 13.889

Sig 101.7 (460.22)



MINISTERIO DEL AIRE
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION DE VUELO

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

PUBLICACIONES

Serie A (Memorias), núm. 14

PRIMEROS RESULTADOS
DE LOS SONDEOS TERMODINAMICOS
DE LA TROPOSFERA EN BALEARES

POR

INOCENCIO FONT TULLOT

Meteorólogo, Licenciado en Ciencias Físicas, Capitán Asimilado del Ejército
del Aire, Jefe del Observatorio Aerológico de Izaña (Tenerife)

SECCION DE AEROLOGIA
Apartado 285.— MADRID
1 9 4 3





MINISTERIO DEL AIRE
DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN DE VUELO

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

PUBLICACIONES

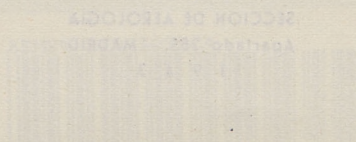
Serie A (Memorias), núm. 14

PRIMEROS RESULTADOS DE LOS SONDEOS TERMODINÁMICOS DE LA TROPOSFERA EN BALEARES

por

INOCENCIO FONT TULLÓ

Meteorólogo, ascendido en Carrera Especial, Capitán Aviajero del Ejército del Aire, jefe del Observatorio Aviajero de Palma (Balears)



PRIMEROS RESULTADOS DE LOS SONDEOS TERMODYNAMICOS DE LA TROPOSFERA EN BALEARES

por

INOCENCIO FONT TULLOT
Meteorólogo

PRIMEROS RESULTADOS DE LOS SONDEOS TERMODINÁMICOS DE LA TROPOSFERA EN BALBAIRES

Resumen.—Durante la pasada campaña y con el fin de poder obtener un estudio de protección meteorológica lo más eficaz posible a través de sondas, iniciáronse en Mallorca los sondeos aerológicos con balón. Empezaron éstos en la primavera del año 1938, habiéndose continuado hasta el mes de abril del año 1940, en que con motivo de un accidente de aviación quedó inutilizado el último meteorógrafo que nos quedaba en buen estado. Desgraciadamente no disponemos de una serie continua de sondas durante tal período de tiempo, pues debido a diversas causas sufrieron éstas varias interrupciones. Para el presente trabajo hemos elegido la última serie, la cual empieza el día 30 de diciembre de 1939 y termina el 25 de abril de 1940. Motivos esta elección diversas causas: Una que la serie de sondas es bastante numerosa, y otra la garantía que ofrecen el calibrado de los meteorógrafos y la interpretación de los meteorogramas. Dicha serie consta de 78 sondas, de las cuales 70 han sobrepasado los 4.000 metros geodésicos de altura.

En el presente trabajo vamos a exponer: Primero, el procedimiento y método seguido en la ejecución del sondeo, y en el trazado e interpretación de los diagramas correspondientes; y segundo, cuáles han sido los primeros resultados obtenidos. Con esto y cuando de una manera definitiva se reanuden en Balbaire los sondeos termodinámicos de la troposfera, se dispondrá de algunos datos e ideas que podrán servir de iniciación a futuros estudios más completos que nos conduzcan a conclusiones definitivas sobre la física de las masas de aire en el Mediterráneo Occidental.

I. PRACTICA DEL SONDEO Y TRAZADO DE DIAGRAMAS

Forma de efectuar el vuelo.—Al no disponer de un avión especial para sondeos aerológicos, adoptamos como tal al avión de caza Fiat C. R.-32. Se procuró que en sus vuelos dichos aparatos se sujetasen en todo lo posible a las condiciones requeridas. De esta forma se puso especial cuidado en la regularidad del vuelo, de lo que nos da idea la finura de trazo de las líneas registro de la presión (inferiores) de las figuras 1 y 2, en las que vemos fotografiadas las bandas de dos sondeos. Al fin de evitar en lo posible el que sobreviniesen grandes irregulari-

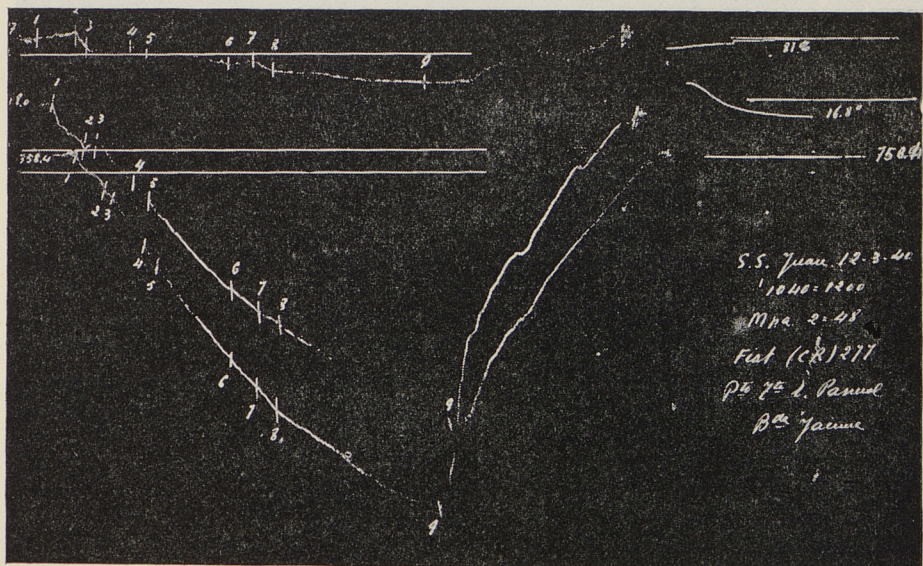


Figura 1

dades debidas a la inercia de los aparatos de medir, se procuró que la velocidad ascensional del avión no superase los 5 m/s. Los sondeos correspondientes a las figuras 1 y 2, fueron efectuados con una velocidad ascensional media de 3 m/s. el de la figura 1 y de 2,5 m/s. el de la figura 2.

Colocación del meteorógrafo en el avión.—El meteorógrafo debe estar instalado fuera de la acción de la hélice. En el lugar donde se instale no debe haber más variación de presión que la debida a la variación de altura y, por consiguiente, debe colocarse fuera de las zonas de sobrepresión y de depresión que existen en los planos del aparato en

vuelo. En las condiciones normales de vuelo la parte inferior del plano está casi libre de perturbaciones, siendo la más adecuada para colocar el meteorógrafo (en los biplanos se debe colocar en la parte inferior del plano más bajo).

De acuerdo con las mencionadas condiciones, los meteorógrafos fueron instalados en el avión en la forma que vemos en las fotografías de las figuras 4 y 5. En el esquema de la figura 3 se detalla el sistema que hemos empleado para fijarlo. El meteorógrafo va adaptado a un soporte cuya parte superior lleva una cavidad dentro de la cual encaja

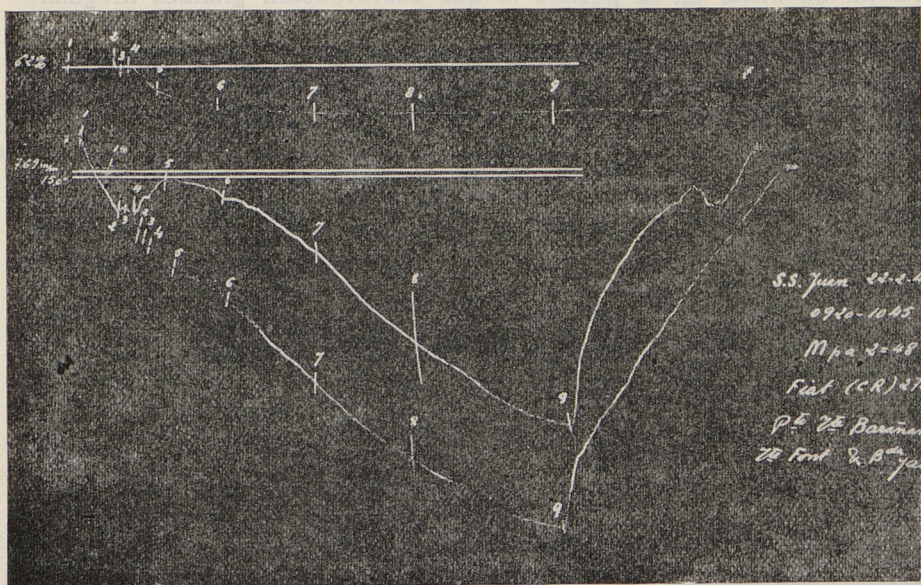


Figura 2

la anilla de amarre del plano inferior del avión, la que queda sujeta al soporte mediante dos arandelas y un tornillo.

En la fotografía de la figura 4 vemos instalado un meteorógrafo Wigand y en la de la figura 5 uno Siap. Casi todos los sondeos fueron efectuados con meteorógrafos Siap, debido a que con éstos obteníamos gráficas de trazo mucho más fino que con el Wigand, a causa de que en la instalación de los primeros las vibraciones del avión, además de quedar amortiguadas por el resorte interior del soporte, lo quedan por las gomas que sujetan el meteorógrafo a la jaula, como se ve en las figuras 4 y 5. De la limpieza y finura de las gráficas nos dan idea las fotografías de las figuras 1 y 2.

Valorización de los resultados del sondeo.— Una vez efectuado el sondeo se procedía a la lectura del meteorograma correspondiente, obteniendo para cada punto característico los valores de la humedad, temperatura y presión. A continuación y con el objeto de poder determinar las alturas correspondientes a dichos puntos característicos, y también para poder valorizar los datos registrados, se procedía al traslado de éstos al correspondiente diagrama termodinámico.

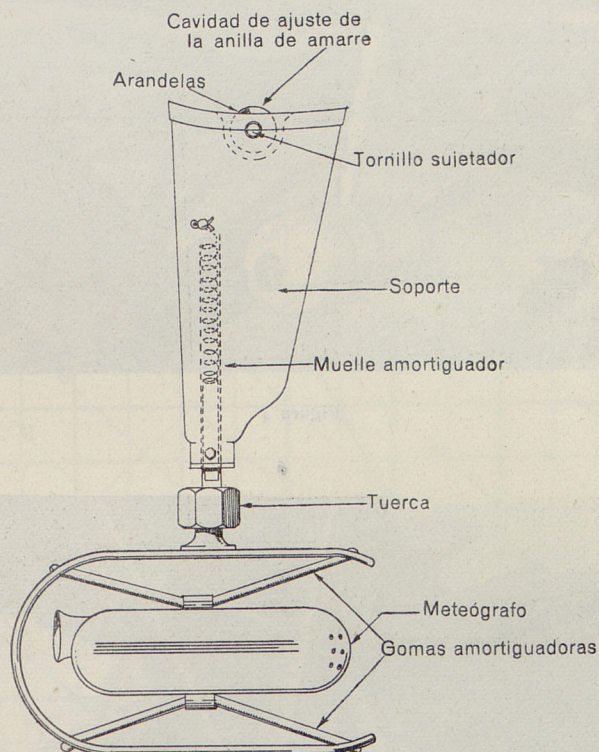


Figura 3

Diagrama de Stüve.—En este diagrama se toma como abscisa los valores de la temperatura en grados centígrados y como ordenadas los valores de la presión en escala $p^{0,288}$. El cuadrículado del diagrama está, por consiguiente, constituido por líneas isobaras (horizontales) y líneas isotermas (verticales). Llamaremos líneas isobaras principales las tomadas de 100 en 100 mb., y como isotermas principales las tomadas de 10 en 10 grados, distinguiéndose ambas líneas por ser de trazo más grueso. Llevando sobre el diagrama los valores de la presión y temperatura de los puntos característicos, obtendremos la curva presión-tem-

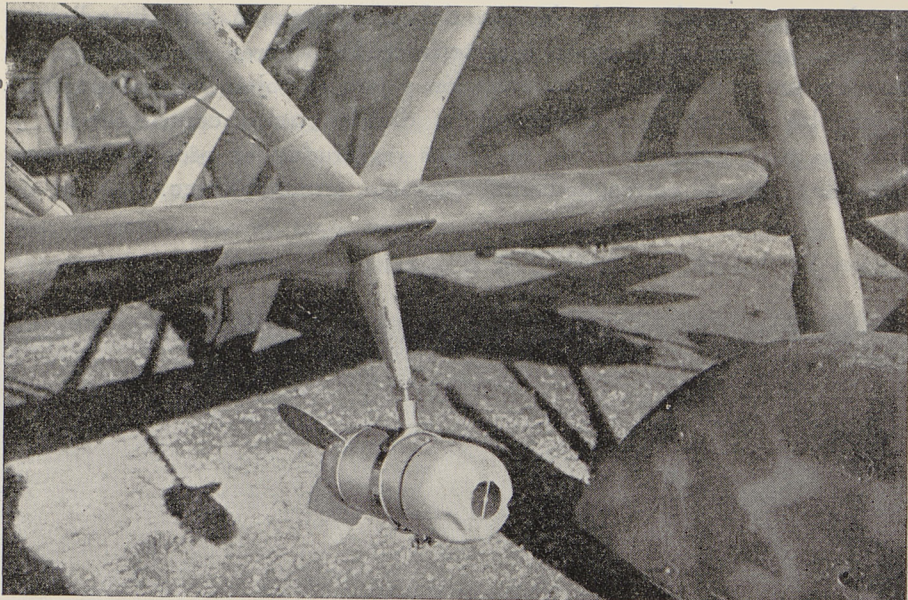


Figura 4

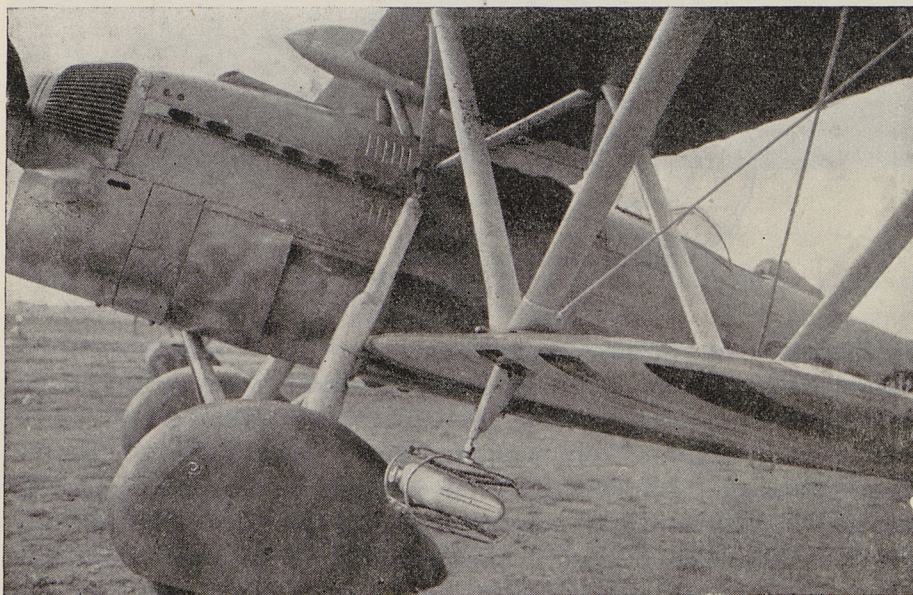


Figura 5

peratura. En el mismo diagrama se dibuja la curva humedad-presión, tomándose como ordenadas las presiones, y como abscisas las humedades. En la figura 6 hemos dibujado como ejemplo las curvas del sondeo correspondientes a la fotografía de la figura 2. Como vemos en dicho ejemplo, hemos elegido el intervalo 30° - 40° como intervalo de humedades.

Como se ve en la figura 6, sobre el diagrama están trazadas las

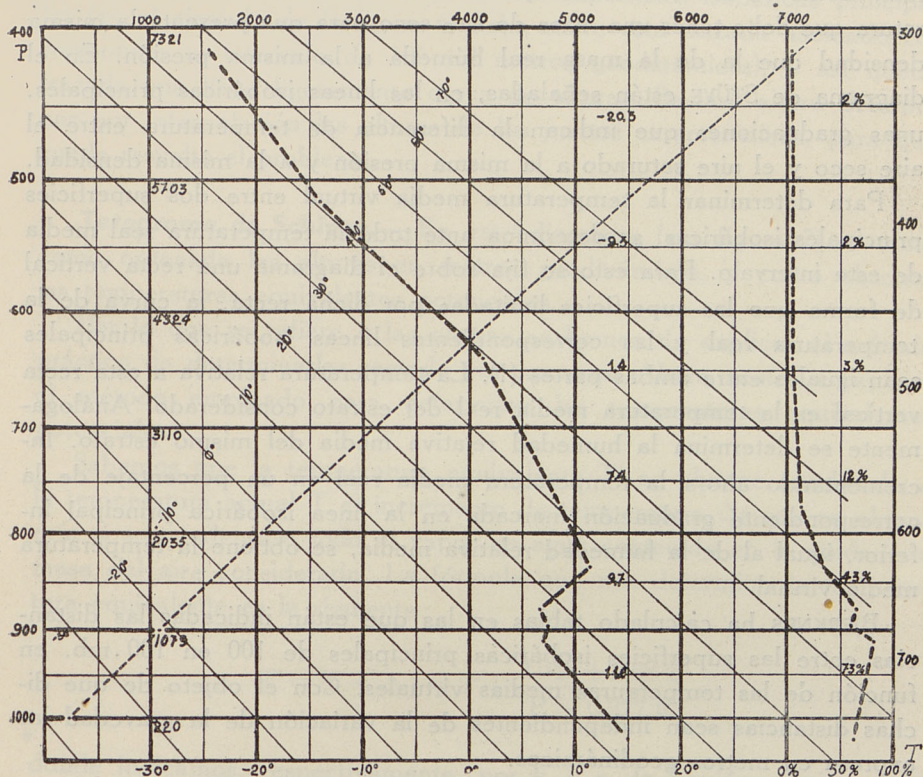


Figura 6

adiabáticas secas (líneas rectas inclinadas hacia la izquierda, que se acostumbra a pintar en verde), sobre las cuales están anotadas las correspondientes temperaturas potenciales referidas a la superficie de 1.000 mb. También figuran las adiabáticas saturadas y las líneas de máxima humedad específicas graduadas en gr/Kg.; ambas no han sido dibujadas en nuestra figura para que no resultase confusa; en los diagramas que se emplean en la práctica se distinguen fácilmente, ya que son de color anaranjado, las adiabáticas húmedas en trazo continuo y las líneas de máxima humedad específica traceadas.

Cálculo de las alturas de los puntos característicos. Dichas alturas se calculan de manera muy sencilla empleando el método de BJERKNES-STÜVE.

Como sabemos, la composición del aire varía mucho en lo que se refiere al contenido de vapor acuoso; por eso y con objeto de tener en cuenta esa circunstancia se introduce el concepto de temperatura virtual. Como se sabe, dicha temperatura viene definida como la temperatura que debe tener una masa de aire seco para que presente la misma densidad que la de la masa real húmeda a la misma presión. En el diagrama de STÜVE están señaladas, en las líneas isobáricas principales, unas graduaciones que indican la diferencia de temperatura entre el aire seco y el aire saturado a la misma presión y a la misma densidad.

Para determinar la temperatura media virtual entre dos superficies principales isobáricas, se determina ante todo la temperatura real media de este intervalo. Para esto se fija sobre el diagrama una recta vertical de forma que las superficies limitadas por dicha recta, la curva de la temperatura real y las correspondientes líneas isobáricas principales sean iguales entre ambas partes (1). La temperatura relativa a esta recta vertical es la temperatura media real del estrato considerado. Análogamente se determina la humedad relativa media del mismo estrato. Incrementando ahora la temperatura media real en un porcentaje de la correspondiente graduación marcada en la línea isobárica principal inferior, igual al de la humedad relativa media, se obtiene la temperatura media virtual.

BJERKNES ha calculado tablas en las que están indicadas las distancias entre las superficies isobáricas principales de 100 en 100 mb. en función de las temperaturas medias virtuales. Con el objeto de que dichas distancias sean independientes de la variación de la gravedad las expresa en metros geodinámicos.

Una vez determinadas las temperaturas medias virtuales de los sucesivos estratos de 100 mb. de espesor, se determina por la tabla de BJERKNES (9 M.) las correspondientes distancias entre las superficies isobáricas principales. La sucesiva adición de estas distancias a la altura de la superficie de 1.000 mb. sobre el nivel del mar, nos determinan las correspondientes alturas de las superficies isobáricas principales.

Ahora falta determinar la altura de la superficie de 1.000 mb. sobre el nivel del mar. Estas se calculan determinando primero su altura sobre el suelo y añadiendo luego la altura del mismo sobre el mar.

(1) Este procedimiento es exacto en el diagrama logarítmico, pero no en el de STÜVE, aunque el error cometido es despreciable.

La tabla (10 M.) de BJERKNES nos da las alturas de la superficie de 1.000 mb. sobre (o debajo) del suelo, para una temperatura media virtual de 0°, en función del valor de la presión sobre el suelo. Para obtener la verdadera altura es necesario aportar las correcciones de temperatura según la tabla (12 M.) de BJERKNES.

Se traza ahora sobre el diagrama la curva de presión-altura llevando al eje de las abscisas las alturas de las superficies isobáricas principales (en el ejemplo de la figura 6 dicha curva está trazada haciendo corresponder al intervalo de 10° mil metros geodinámicos), y así queda trazada una línea ligeramente curva de alturas. Bastará ahora determinar por interpolación las alturas de los puntos característicos, para que quede resuelto el problema.

Tetragrama de Schinze.— En este diagrama (ver figura 7) se toma como ordenada las alturas en metros geodinámicos, y como abscisas las temperaturas equivalentes potenciales.

Por lo que se refiere a las alturas acabamos de explicar el método práctico de determinarlas seguido por nosotros. Ahora vamos a explicar el método empleado para determinar las temperaturas equivalentes potenciales.

Sabemos que la temperatura equivalente T' se obtiene añadiendo a la temperatura actual T el incremento de temperatura Δt que se obtendría si se condensase todo el vapor de agua contenido en la unidad de masa del aire considerado. La fórmula que nos determina la temperatura equivalente es la siguiente:

$$T' = T + \Delta t = T + \frac{1548 + 1.68 T}{P - 0.377 E} e$$

donde indicamos, respectivamente, por E y e , la tensión máxima y la actual del vapor de agua, y por p la presión atmosférica. Siendo 0,377 E despreciable con respecto al valor de p , tendremos:

$$T' = T + (1548 + 1.68 T) \frac{e}{P}$$

esta fórmula puede simplificarse si suponemos para la T que está dentro del paréntesis un valor constante $T = 15^\circ \text{C}$, entonces nos quedará:

$$T' = T + 1570 \frac{e}{P} \quad [1]$$

por otra parte, la humedad específica s expresada en gramos de vapor de agua por un Kg. de aire húmedo es

$$s = \frac{623 e}{P - 0,377 e} \simeq 623 \frac{e}{P}$$

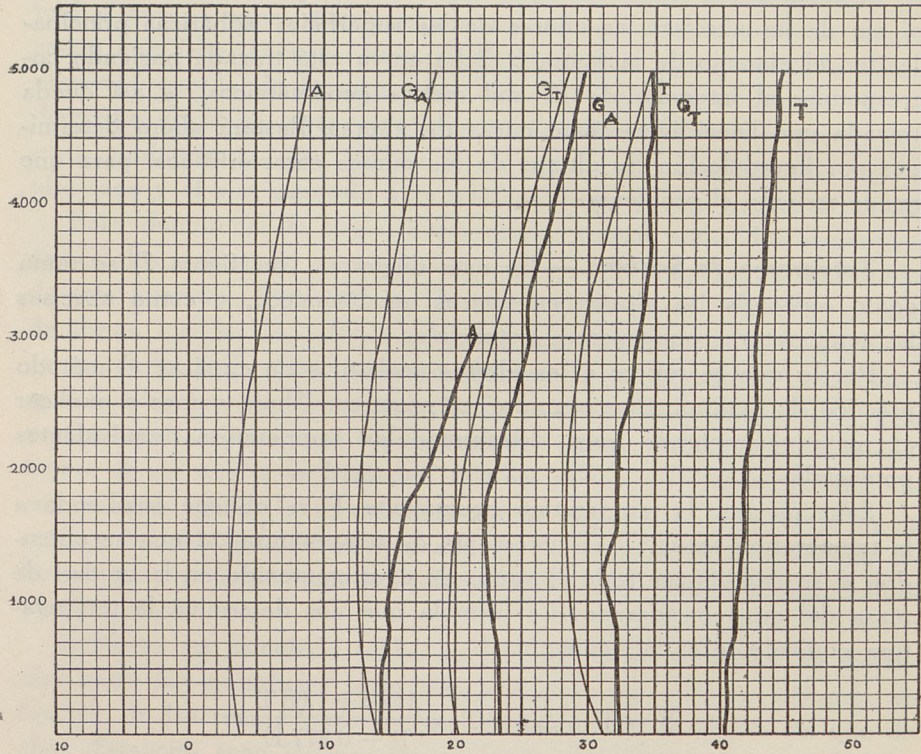


Figura 7

Sustituyendo este valor en la fórmula (1) tendremos :

$$T' = T + \frac{1570}{623} s$$

o sea

$$T' = T + 2,52 s$$

[2]

fórmula sencillísima que nos determina la temperatura equivalente en función de la temperatura real y de la humedad específica.

Calculando ahora las temperaturas potenciales de las correspondientes temperaturas equivalentes mediante la fórmula

$$\theta' = T' \left(\frac{1000}{P} \right)^{\frac{R}{C_p}}$$

quedarán determinadas las correspondientes temperaturas equivalentes potenciales referidas a la superficie de 1.000 mb.

El método práctico y muy sencillo para el cálculo de los valores de las temperaturas equivalentes potenciales correspondientes a los puntos característicos obtenidos del sondeo, se funda en la utilización del diagrama de STÜVE para determinar los valores de la humedad específica y en la aplicación de la fórmula (2) para hallar los valores de T' .

Como ya hemos dicho, las líneas anaranjadas traceadas del diagrama de STÜVE, corresponden a los valores de la humedad específica máxima. Por consiguiente, la lectura del diagrama nos irá dando las humedades específicas máximas de los puntos característicos, las cuales, multiplicadas por los correspondientes valores de las humedades relativas de dichos puntos, nos determinarán los valores de s que buscamos.

Simplificando la fórmula (2) tendremos $T' = +2,5$ s, lo cual nos dice que, para un valor de $s = 4 \text{ gr/kg.}$, se obtiene el valor de T' añadiendo 10° C al de T . Por consiguiente, si tenemos una reglita graduada de forma que cuatro de sus divisiones correspondan a diez divisiones del eje de las abscisas del diagrama de STÜVE, podremos hallar rápidamente los valores de T' determinando sobre dicho diagrama los valores de las temperaturas de aquellos puntos desplazados hacia la derecha de los correspondientes puntos característicos en una cantidad igual a s , contada sobre la reglita.

Y, por último, sobre las adiabáticas secas que pasen por dichos puntos desplazados leeremos las temperaturas equivalentes potenciales θ' que buscamos.

CUADRO DE SIMBOLOS

K	masa fría
W	masa caliente
M	masa de aire, cuerpo de aire
F	frente, zona frontal
A	aire ártico
G	aire templado
T	aire subtropical
E	aire ecuatorial
m	aire marítimo
c	aire continental
γ	gradiente térmico vertical
e	estrato de inversión
i	estrato sobrecalentado
f	foehn
z	altura en metros sobre el mar
ΔZ	espesor de un estrato
T	temperatura del aire en C°
T'	temperatura equivalente
Θ	temperatura potencial
Θ'	temperatura equivalente potencial
R	humedad relativa
e	tensión del vapor
S	humedad específica

II. ANALISIS DE LAS MASAS DE AIRE

Introducción.—En lo que a continuación vamos a exponer se ha tomado como norma el sistema empleado por SCHINCE para la Europa Central. Dicho sistema adquiere en nuestra región mayor complejidad que en la Europa Central, debido a que siendo el Mediterráneo una región meteorológica con caracteres propios aislada del resto de Europa por poderosas montañas, habrá que tener presente la influencia del Mediterráneo sobre las masas de aire que irrumpen en el mismo. Ya el antiguo método isobárico presenta mayores dificultades al aplicarlo a nuestra región, donde la formación de las depresiones se origina la mayoría de las veces en forma imprevista, siendo su previsión muy difícil. Asimismo presenta gran complejidad el intentar trazar los frentes según la clásica disposición sobre el ciclón; pero aun en estos casos es difícil su aplicación para la previsión del tiempo, ya que su desplazamiento y evolución quedan grandemente modificados a causa de las circunstancias geográficas y orográficas, no yendo, por consiguiente, de acorde con las reglas establecidas por BJERKNES para la Europa Central. Así, por ejemplo, cuando las depresiones atlánticas desplazándose hacia el E. o el N.E. se sitúan sobre la Península Ibérica, pueden trazarse sobre las mismas las tres clásicas líneas de convergencia: frente caliente, frío y ocluido, siendo frecuentísimo el caso que tal sistema quede detenido, estableciéndose sobre nuestra región un cielo de margen acompañado de un aflujo de aire m_{GT} (marítimo, templado, caliente), que acostumbra a durar varios días. Cuando dicha perturbación interesa a las Baleares, no siempre presenta el tiempo los mismos caracteres, pues éstos dependen de las características de la masa mediterránea existente y de la masa atlántica invadiente.

Otro ejemplo lo tenemos en el caso también frecuentísimo de las irrupciones de aire frío A o G_A a través del Golfo de León y del de Trieste, originadas por el anti-ciclón atlántico o el centro-europeo, respectivamente. Estas irrupciones, que muchas veces son muy violentas, perturban el tiempo en nuestra región, tomando caracteres de frentes fríos y sucediéndose unos a otros. En estos casos se forman sobre el Mediterráneo importantes depresiones centradas generalmente sobre la región de Córcega y Cerdeña. Sobre las mismas se definen los frentes, éstos pueden trazarse pero a nosotros ya no nos sirven para la previsión del tiempo en nuestra región, mientras que en el Mediterráneo Oriental, donde se desplazan dichas depresiones, seguramente podrán aplicarse las reglas de BJERKNES.

Estos ejemplos ponen de manifiesto la gran utilidad que puede tener en nuestra región el método empleado por SCHINZE, en el cual no se toman únicamente en cuenta los fenómenos que se desarrollan en los límites de separación de las masas de aire distintas, sino también los que tienen lugar en el seno de la masa misma, los cuales pueden ser de gran importancia. De la aplicación de este método es de esperar que en el futuro pueda llegarse a procedimientos tan seguros como los empleados en la Europa Central para la previsión del tiempo en el Mediterráneo Occidental. Estos procedimientos habrán de basarse sobre un conocimiento perfecto de las masas de aire existentes en el Mediterráneo y de las masas extrañas que irrumpen en el mismo. Conocimiento que puede obtenerse por medio de los sondeos termodinámicos de la troposfera y de las observaciones de las estaciones de montaña, junto con el análisis de las cartas sinópticas del tiempo.

Fundamento del método de Schinze.—Dicho método se funda en el análisis de las masas de aire por medio de la temperatura equivalente potencial Θ' , la cual mide la cantidad total de calor contenido en la masa, siendo una propiedad conservativa de la masa en cuestión. Salvo para algunas estaciones situadas en posiciones particularmente favorables, los valores de Θ' sobre el suelo no son representativos por resultar alterados a causa de la influencia local, y por consiguiente no se prestan para dicho análisis. En cambio, los valores de Θ' , deducidos del sondeo y llevados sobre el tetagrama, nos dan una curva de estado la cual constituye un medio muy útil para el análisis de las masas de aire. Los valores de Θ' considerados cuantitativamente y la forma de la curva considerada cualitativamente nos conducen a importantes resultados para la individualización:

- a) Del origen, de las vicisitudes y del espesor de una masa de aire;
- b) De la influencia local que ha sufrido (inversión y sobrecalentamiento en el suelo);
- c) De la estabilidad e inestabilidad de la atmósfera.

Los tetagramas de un gran número de sondeos efectuados en Alemania, puestos en relación con análisis de las cartas sinópticas del tiempo, ha permitido establecer para cada mes la curva característica de cada una de las principales masas de aire tropoesféricas; a esta curva se le ha llamado *curva homóloga típica*.

Cuando nos encontremos en presencia de una misma masa activa y homogénea en todo el estrato explorado, el tetagrama se situará

aproximadamente sobre una u otra curva homóloga; por lo contrario, si estamos en presencia de diversas masas de aire superpuestas, el tetagrama tomará una forma escalonada, con trazos que se dispondrán según las curvas homólogas y otros inclinados correspondientes a los estratos de transición, cuya inclinación dependerá del espesor de dichos estratos.

Determinación de la posición aproximada sobre nuestra región de las curvas homólogas típicas de las masas de aire principales para la estación de invierno.— Para poder interpretar nuestro tetagrama se nos presenta como primer problema el determinar la posición sobre nuestra región de las curvas homólogas típicas de las masas de aire principales: A (ártica), G_A templada fría, G_T (templada caliente) y T (subtropical), las cuales en el Mediterráneo Occidental y por razones geográficas y orográficas han de diferir mucho de las calculadas por SCHINZE para la Europa Media, tanto cuantitativamente como cualitativamente. Para poder obtener en forma precisa dichas curvas nos haría falta disponer de una serie muy numerosa y continua de sondeos. Como quiera que habremos de esperar aún bastante tiempo para poder disponer en dicha serie, por el momento nos contentaremos con poder conseguir una idea aproximada de las curvas homólogas típicas en nuestra región deducidas de nuestros sondeos.

De la serie de sondeos que disponemos han sido elegidos los correspondientes al invierno 1939 a 1940, los cuales suman 57. De éstos han sido seleccionados de acuerdo con el análisis de los mapas del tiempo los correspondientes a masas homogéneas de aire A, G_A , G_T y T. De los tetagramas correspondientes han sido tomados los valores Θ' de 250 en 250 metros. Una vez obtenidos los valores medios de Θ' a las correspondientes alturas, han sido trazadas las cuatro curvas homólogas típicas (las gruesas) de la figura 7. Con el fin de comparación se han trazado también las calculadas por SCHINZE para la Europa Central correspondiente al mes de febrero. En el cuadro número 1 están especificados los valores medios de Θ' tomados de 500 en 500 metros de altura para las cuatro masas de aire principales; y el número de observaciones que han servido para obtener dichos valores. El cuadro número 2 muestra a las correspondientes alturas las diferencias entre los valores de Θ' de nuestras curvas de la estación de invierno y las correspondientes de SCHINZE del mes de febrero.

Observemos primeramente la curva correspondiente a la masa de aire A. Destaca en ella su gran inclinación a la derecha sobre el eje de las Θ' , de forma que siendo sobre el suelo $10,5^\circ$ la diferencia con

CUADRO I

Altura	AIRE - A		AIRE - G _A		AIRE - G _T		AIRE - T	
	Valores medios	Núm. de obs.	Valores medios	Núm. de obs.	Valores medios	Núm. de obs.	Valores medios	Núm. de obs.
00	14,2	3	23,3	9	32,3	17	40,3	7
500	14,6	3	23,2	9	32,0	17	40,4	7
1.000	15,0	3	22,8	9	31,5	17	41,1	7
1.500	15,7	3	22,4	9	32,0	17	41,7	7
2.000	18,0	3	22,9	9	33,0	17	41,7	7
2.500	19,6	3	24,2	9	33,0	17	42,7	7
3.000	21,6	3	25,3	9	33,6	17	42,6	7
3.500	—	—	26,1	9	34,2	17	43,0	7
4.000	—	—	27,2	9	34,3	17	43,6	7
4.500	—	—	28,7	9	34,6	17	44,0	7
5.000	—	—	29,7	9	34,8	17	44,3	7

CUADRO II

Altura	A	G _A	G _T	T
00	10,5	0,0	12,0	9,0
500	11,5	10,0	12,5	11,0
1.000	12,0	10,0	12,0	12,0
1.500	12,5	9,5	12,0	13,0
2.000	14,0	10,0	11,5	13,0
2.500	15,0	11,0	11,5	13,5
3.000	16,0	11,0	10,0	13,0
3.500	—	11,0	10,5	12,5
4.000	—	11,0	9,0	12,0
4.500	—	11,5	7,5	11,0
5.000	—	11,5	6,5	10,0

la de SCHINZE, a los 2.000 metros llega a ser 14°C y a los 3.000 metros 16°C . Nótese también que así como en las otras tres curvas se ha llegado a los 5.000 metros, en ésta nos hemos detenido a los 3.000 metros. La explicación de esto estriba en que el número de sondeos empleados en determinar dicha curva media es en extremo reducido, pues son tres únicamente; por lo tanto, debe ser más irregular e imprecisa que las otras tres. Este pequeño número nos pone de manifiesto la poca frecuencia de las incursiones de aire A en nuestra región. En los tres sondeos utilizados se nota una particularidad común, consistente en que siendo los estratos inferiores de aire A, a medida que aumenta la altura pierden dicho carácter, adquiriendo el de G_A pasados los 3.000 metros. El paso de A a G_A se efectúa en forma continua, no presentando las curvas cambios notables de pendiente; por lo tanto no quedan bien definidos los estratos de transición. Queda también de manifiesto el poco espesor que generalmente tienen las masas de aire A en el Mediterráneo Occidental, el cual supera pocas veces los 2.000 metros. Esto se debe a que dichas masas irrumpen sobre nuestra región a través de estrechas vías de acceso, por lo que al llegar sobre el Mediterráneo se extienden sobre el mismo, disminuyendo, por consiguiente, de espesor en forma muy notable.

Como ya hemos dicho, la curva hallada para la masa de aire A es muy imprecisa. El que esté más desplazada hacia la derecha que las otras tres curvas homólogas con respecto a las correspondientes de SCHINZE, se debe a la mucha edad que tienen dichas masas A cuando llegan a nuestra región después de haber recorrido grandes distancias desde sus lejanos puntos de origen.

La curva media característica de la masa G_A se distingue por su gran parecido en la forma con la correspondiente de SCHINZE, estando únicamente algo más inclinada hacia la derecha. En el cuadro número 2 pueden observarse la gran regularidad de las diferencias entre los valores de Θ' para las dos curvas correspondientes.

Examinando la curva de la masa G_T vemos, al compararla con la correspondiente de SCHINZE, que su inclinación es mucho menor. En el cuadro número 2 se observa que siendo 12°C la diferencia entre los dos valores correspondientes de Θ sobre el suelo, dichas diferencias disminuyen progresivamente al aumentar la altura, llegando a valer $6,5^{\circ}\text{C}$ a los 500 m. Nótese también que siendo 17 el número de sondeos empleados en determinar dicha curva, es este número muy superior al empleado en determinar las demás curvas. Esto pone de manifiesto la mayor frecuencia de la presencia de masas G_T sobre las de-

más en nuestra región. Este predominio de aire G_T con caracteres propios de la región determina las características principales del clima mediterráneo.

Por último, en el examen de la curva correspondiente a las masas de aire T notamos una gran regularidad, disponiéndose los puntos de la misma aproximadamente sobre una recta. En el cuadro número 2 vemos cómo tanto en el estrato inferior como en el superior las diferencias de los valores correspondientes de Θ' son los mismos. Estas diferencias valen aproximadamente $10^\circ C$, mientras que los estratos medios llegan a valer $13^\circ C$.

El no disponer de un mayor número de observaciones nos impide el tratar de subdividir las masas de aire subtropical T, en subtropical templada T_G y subtropical ecuatorial T_E .

Resumiendo y teniendo en cuenta la escaso número de observaciones empleadas, vemos que el resultado obtenido es bastante satisfactorio. Es notable que dicho resultado esté bastante acorde con la regla seguida por nosotros al interpretar los sondeos que efectuamos en ésta, consistente en suponer las curvas homólogas de SCHINZE desplazadas 10° hacia la derecha.

Comparación de la frecuencia de las masas principales de aire con los datos estadísticos de los vientos en altura sobre nuestra región.—

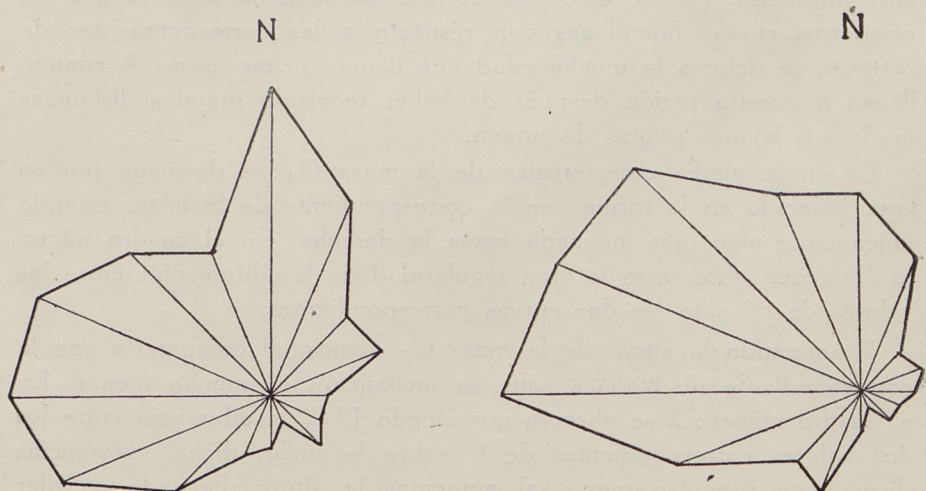


Figura 8

En la figura número 8 tenemos representadas las rosa de la frecuencia de los vientos en altura correspondientes a los 500 m. y a los 1.500 m.

obtenidas de las observaciones efectuadas en Mahón, y relativas a la estación de invierno.

En el examen de los vientos a 500 m. se nos muestra claramente un predominio de los vientos del sector N. Estos vientos son fríos y secos, correspondiendo a la presencia de masas de aire con caracteres de aire A o C_A . A primera vista parece que esto que acabamos de decir no está de acorde con lo que hemos dicho en el párrafo anterior, donde hemos hecho resaltar el predominio que tienen sobre nuestra región las masas de aire C_T , las cuales generalmente van acompañadas de vientos del sector W. Esta contradicción aparente no existe por lo que se refiere a los vientos a 1.500 m. de altura, pues en la correspondiente rosa de frecuencias se ven claramente especificado el predominio de los vientos del sector W, lo cual está de acuerdo con la mayor frecuencia de masas C_T .

El predominio de vientos del sector N en las capas inferiores se debe a vientos locales que generalmente no sobrepasan los 1.000 m. de altura, pero no a la presencia de masas homogéneas de aire C_A o A, las que como ya hemos visto, son mucho menos frecuentes que las C_T .

Examen de algunos tetagramas típicos correspondientes a situaciones interesantes.—En las figuras 9 y 10 hemos trazado en cada diagrama las curvas características halladas por nosotros correspondientes a las masas de aire principales para nuestra región durante la estación de invierno y las curvas de los sondeos que vamos a analizar.

En la figura número 9 a tenemos el tetagrama del día 18-1-1940 correspondiente a una masa de aire cA . Dicha masa está bien definida hasta los 1.800 m. de altura, encontrándose a alturas superiores aire más templado. Este aflujo de aire frío y seco en el estrato inferior da lugar a una disminución del gradiente de temperaturas, $\gamma=0,6$, lo cual supone un aumento de la estabilidad, no originándose la fuerte perturbación que el análisis de la carta del tiempo de este día, con un importante mínimo sobre el mar Tirreno, hacía presumir.

En la figura número 9 b vemos el tetagrama del día 15-1-1940 relativo a una masa de aire cC_A . Estas masas están alimentadas por el anticiclón Atlántico centrado en la región septentrional. El carácter continental lo ha adquirido al pasar sobre el continente europeo. Distribución bastante estable, $\gamma=0,6$. Sobre las Baleares, tenemos tramontana moderado.

En la figura 9 c hemos trazado el tetagrama del día 11-1-1940 co-

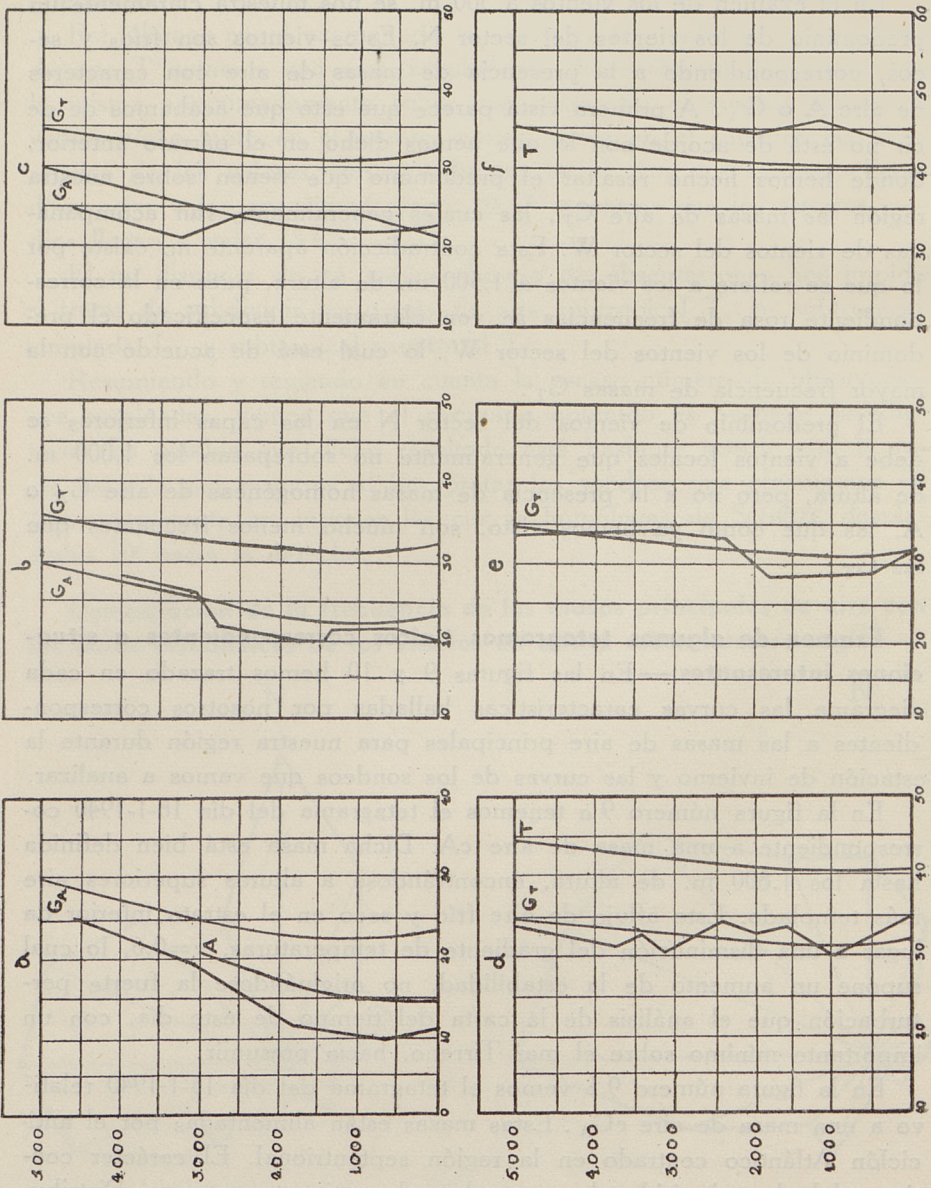


Figura 9

respondiente a una fuerte irrupción del aire mG_A , alimentada por el anticiclón centroeuropeo. El carácter marítimo lo ha adquirido a causa de su largo recorrido sobre el Mediterráneo. La irrupción de estas clases de masas de aire da lugar a los días más fríos de nuestra región, y a las perturbaciones más importantes del tiempo. Distribución muy inestable, $\gamma=0,74$.

En la figura 9 *d* vemos el tetagrama del día 5-1-1940 correspondiente a un aflujo de aire mG_T de origen Atlántico. A pesar de su paso a través de la Península Ibérica, conserva su carácter marítimo por ser muy activa. Distribución inestable, $\gamma=0,72$.

En la figura número 9 *e* tenemos el diagrama del día 3-2-1940, que también corresponde a un aflujo de aire mG_T , pero se diferencia del anterior por distinguirse perfectamente en éste dos estratos. El estrato inferior corresponde a aire más frío que el del superior a causa de haber sufrido la influencia de la Península Ibérica. Este estrato más frío inferior da lugar a un aumento de la estabilidad a causa de la disminución del gradiente, $\gamma=0,6$. Estos aflujos de aire mG_T se presentan siempre que las depresiones atlánticas situadas en la región de las Azores se desplazan hacia la Península Ibérica.

En la figura número 9 *f* hemos trazado el tetagrama del día 13-3-1940 correspondiente a una fuerte irrupción de aire mT de origen atlántico, el cual llega a nuestra región después de su paso a través de la Península Ibérica. Una propiedad característica de estas masas de aire subtropicales es su poco gradiente; en este caso tenemos $\gamma=0,55$.

En la figura número 10 *a* vemos el tetagrama del día 6-2-1940. Hasta los 3.200 metros tenemos aire T de origen africano, el cual se ha templado a causa de su gran recorrido sobre el Mediterráneo, habiendo tomado carácter marítimo, siendo alto el valor de R . De haber podido hacer la subdivisión de las masas T en T_G y T_E nos encontraríamos en este caso en presencia de aire T_G . A los 3.200 metros empieza un estrato de transición a aire más frío, lo cual da lugar a una distribución inestable. El valor del gradiente es $\gamma=0,65$, que por tratarse de aire tropical es grande.

En la figura número 10 *b* hemos trazado el tetagrama del día 13-1-1940. Como vemos en él hasta los 3.000 metros estamos en presencia de un estrato de aire mG_T de origen mediterráneo; esto lo diferencia de las masas mG_T que hemos visto en los tetagramas anteriores, pues éstas eran de origen atlántico. A los 3.000 metros tenemos un estrato seco y sobre el mismo aire cada vez más tropical de origen africano. El valor del gradiente es $\gamma=0,6$. Estos aflujos de aire mediterrá-

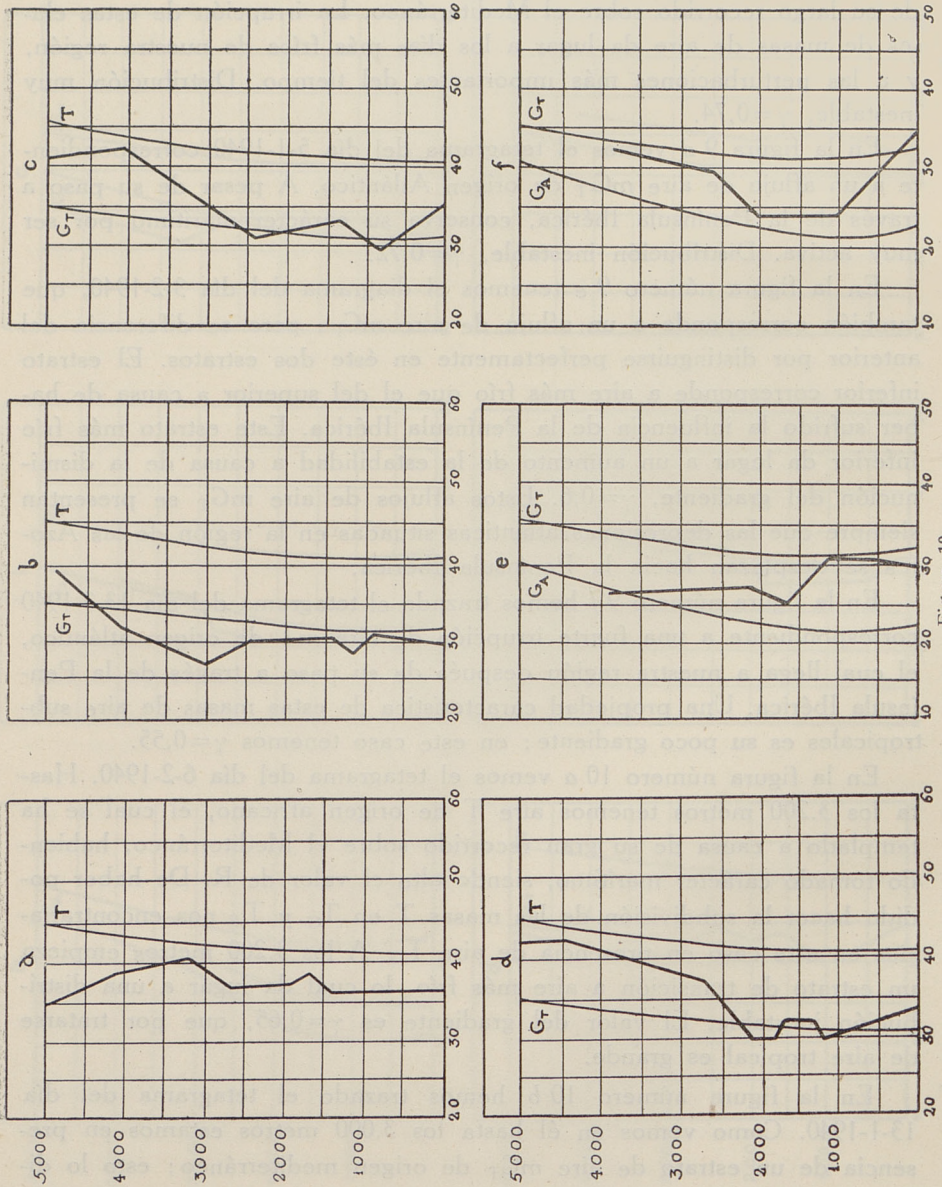


Figura 10

neo mG o mT_T se presentan siempre con depresiones centradas en el N. de Africa.

En el tetagrama de la figura número 10 c del día 9-2-1940 corresponde a una situación muy interesante. Hasta los 2.400 metros nos encontramos en presencia de aire cG_T de procedencia atlántica, el cual ha adquirido carácter continental a su paso a través de la Península Ibérica, habiendo sufrido seguramente el efecto «foehn» al descender hacia el Mediterráneo. Por esta causa el valor de R es muy bajo, salvo en el estrato inferior, que, como se ve en la figura, está sobrecalentado a causa de la influencia mediterránea, siendo R alta hasta los 800 metros. A los 2.400 metros empieza un estrato de transición sobre el que tenemos aire mT atlántico.

El tetagrama del día 19-2-1940 representado en la figura número 10 d es característico del régimen anticiclónico. Un anticiclón centrado sobre la Península Ibérica se extiende sobre el Mediterráneo Occidental. Hasta los 1.600 metros tenemos aire cG_T , siendo el estrato que está en contacto con el suelo más húmedo a causa de la influencia mediterránea. A los 1.800 metros empieza un estrato de transición sobre el cual hay aire más seco. Distribución estable, $\gamma=0,56$.

En la figura 10 e vemos el tetagrama del día 20-12-1939. Hasta los 1.100 metros tenemos aire mG_A . Después de un estrato de transición nos encontramos en presencia de aire cG_A . Lo interesante de este tetagrama está en que vemos en él la influencia local de la sierra de la isla; pues el aflujo de aire cG_A que viene del N. queda detenido por la sierra, manteniéndose sobre el llano de Mallorca un estrato inferior de aire mG_T mediterráneo. Nos encontramos, pues, en el caso de un aumento de la inestabilidad debido a causas locales.

En la figura 10 f tenemos trazado el tetagrama del día 27-12-1939. Hasta los 2.000 metros vemos un estrato de aire que en sus orígenes fué aire cG_A , pero que a causa de la influencia mediterránea se ha sobrecalentado en su parte inferior. Hasta los 700 metros el valor de R es alto, siendo luego muy bajo, dando lugar a un estrato seco que llega hasta los 2.000 metros, empezando a dicha altura un estrato de transición sobre el cual hay aire mG_T .

III. INVERSIONES DE TEMPERATURA

Generalidades.—En los sondeos aerológicos por nosotros efectuados se han presentado inversiones de temperatura con mucha frecuencia. El examen de nuestra serie de 78 sondeos presenta 62 casos de inversiones.

De los 78 sondeos efectuados han sido 70 los que han sobrepasado los 4.500 m. de altura; entre los cuales 29 han superado los 5.000 m. y ocho los 6.000 m.

Se presentan inversiones en casi todas las alturas, pero se destacan zonas de mayor frecuencia: sobre el suelo, alrededor de los 500 m., y entre los 1.000 y los 2.500 m. A alturas superiores de los 3.000 metros también se nos han presentado algunos casos de inversiones importantes. A mayores alturas de 4.000 metros únicamente nos hemos encontrado con dos casos de inversión, los cuales han sido de poca importancia.

En el presente trabajo denominaremos *valor* de la inversión a la diferencia entre la temperatura del final de la inversión y la de su comienzo, y se entenderá por *amplitud* al espesor del estrato donde tenga lugar la inversión.

Por lo que se refiere a su valor se nos han presentado inversiones con valores de menos de $0,1^{\circ}\text{C}$ hasta más de $8,0^{\circ}\text{C}$. Referente a sus amplitudes las tenemos desde menores de 1.000 m. hasta mayores de 900 metros.

Entre el valor de la inversión y su amplitud no aparece ninguna relación de dependencia, encontrándonos con inversiones de menos de $0,5^{\circ}\text{C}$ que superan en mucho los 500 m. de amplitud, y con otras de más de $5,0^{\circ}\text{C}$ que no alcanzan la amplitud de 100 m., y viceversa.

Las zonas de inversiones de máximo valor se nos han presentado sobre el suelo y entre los 500 metros y los 1.500 metros de altura.

En las figuras 11, 12 y 13 hemos trazado los diagramas de algunos sondeos en los cuales han sido observadas las inversiones más interesantes y típicas. Para cada caso se han trazado las gráficas temperatura-altura y humedad específica-altura. Cada división de las ordenadas corresponde a 200 metros geodinámicos, y cada una de las abscisas corresponde a 1°C y a 1 gr/Kg . respectivamente para las dos curvas.

Inversiones sobre el suelo.—Entre esta clase de inversiones distinguiremos las que se presentan bajo un régimen anticiclónico y aquellas que se presentan bajo un régimen depresionario.

No haremos mención de las inversiones *puramente térmicas*, puesto que en la hora en que se han efectuado nuestros sondeos generalmente ya han desaparecido, y además dado su poco espesor sería difícil que quedaran registradas a causa de la irregularidad del sondeo en su comienzo.

a) *En régimen anticiclónico.*—Son frecuentes la presencia de inversiones sobre el suelo en situaciones anticiclónicas. Las por nosotros observadas alcanzan alturas que oscilan alrededor de 300 metros, manteniéndose sus valores alrededor de los $0,5^{\circ}\text{C}$.

Como un caso notable destaca la inversión que se presenta en el sondeo del día 18 de marzo de 1940 que tenemos representado en la figura 11-a. Como vemos, a los 200 metros empieza la inversión terminando a los 600 y siendo su valor $3,5^{\circ}\text{C}$. Por consiguiente no se trata de una inversión sobre el suelo, pero puede explicarse esta inversión suponiendo que en sus comienzos fuese una importante inversión sobre el suelo cuyo estrato inferior ha sufrido un sobrecalentamiento, que se justifica por la amplitud de la variación diurna de temperatura de este día. En este sobrecalentamiento, acompañado también de un aumento de la humedad específica, como se ve en la figura, ha contribuido también el hecho de que la inversión dificulte el movimiento de convección reteniendo por consiguiente durante más tiempo sobre el suelo a las capas inferiores de aire.

b) *En régimen depresionario.*—Hemos observado importantes inversiones sobre el suelo en estas condiciones. Sus valores oscilan de uno a tres grados y sus amplitudes de 300 a 700 metros de altura. Estas inversiones presentan mayores irregularidades que las anticiclónicas y es frecuente el caso de observarse sobre las mismas un estrato, cuyo espesor oscila entre los 300 y los 500 metros, en el cual la temperatura se mantiene constante o disminuye únicamente algunas décimas en todo el estrato.

Las causas que originan estas inversiones son más complejas que las que dan lugar a inversiones bajo un régimen anticiclónico; pues como sabemos, a estas últimas se las supone originadas a causa de la expansión que sufren hacia los márgenes las corrientes descendentes que tienen lugar en las regiones centrales de los anticiclones. A ese efecto, nosotros hemos distinguido dos clases de inversiones en aquellas que tienen lugar bajo un régimen depresionario, según que se registren en el correspondiente tetagrama o que el tetagrama no la especifique, notándose en el mismo más bien un sobrecalentamiento que una inversión.

Para cada una de estas dos clases hemos elegido un ejemplo característico, los cuales se explican a continuación :

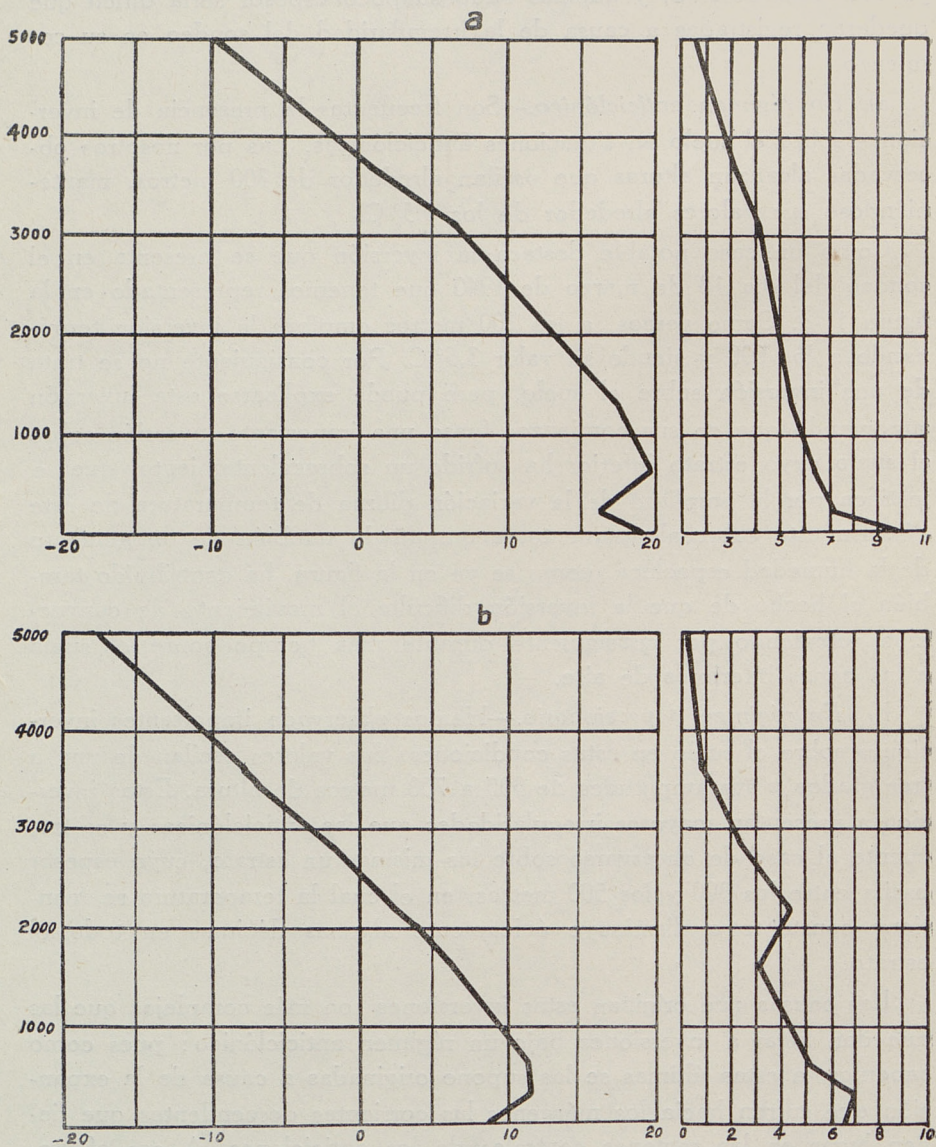


Figura 11

Para la primera clase hemos escogido el sondeo del día 2 de enero de 1940 representado en la figura 11-b. Como vemos, sobre la inversión

se encuentra un estrato de 300 metros de espesor en el cual el gradiente es muy débil. Vemos también que el estrato de 300 metros donde tiene

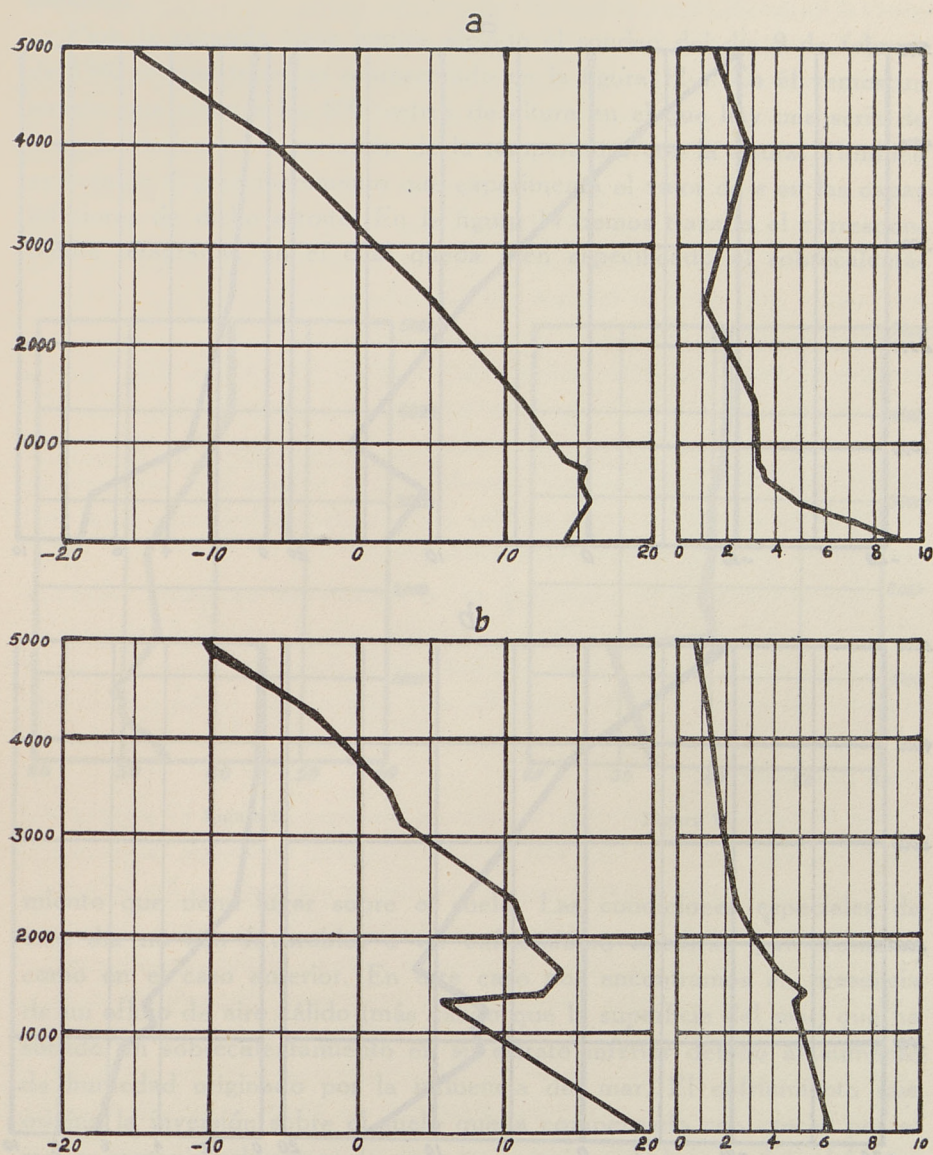


Figura 12

lugar la inversión la humedad específica únicamente experimenta un ligero aumento, y por consiguiente dicha inversión quedaría registrada

en el correspondiente tetragrama. Esta inversión puede haber tenido su origen en una inversión debida a un fuerte enfriamiento del suelo en la

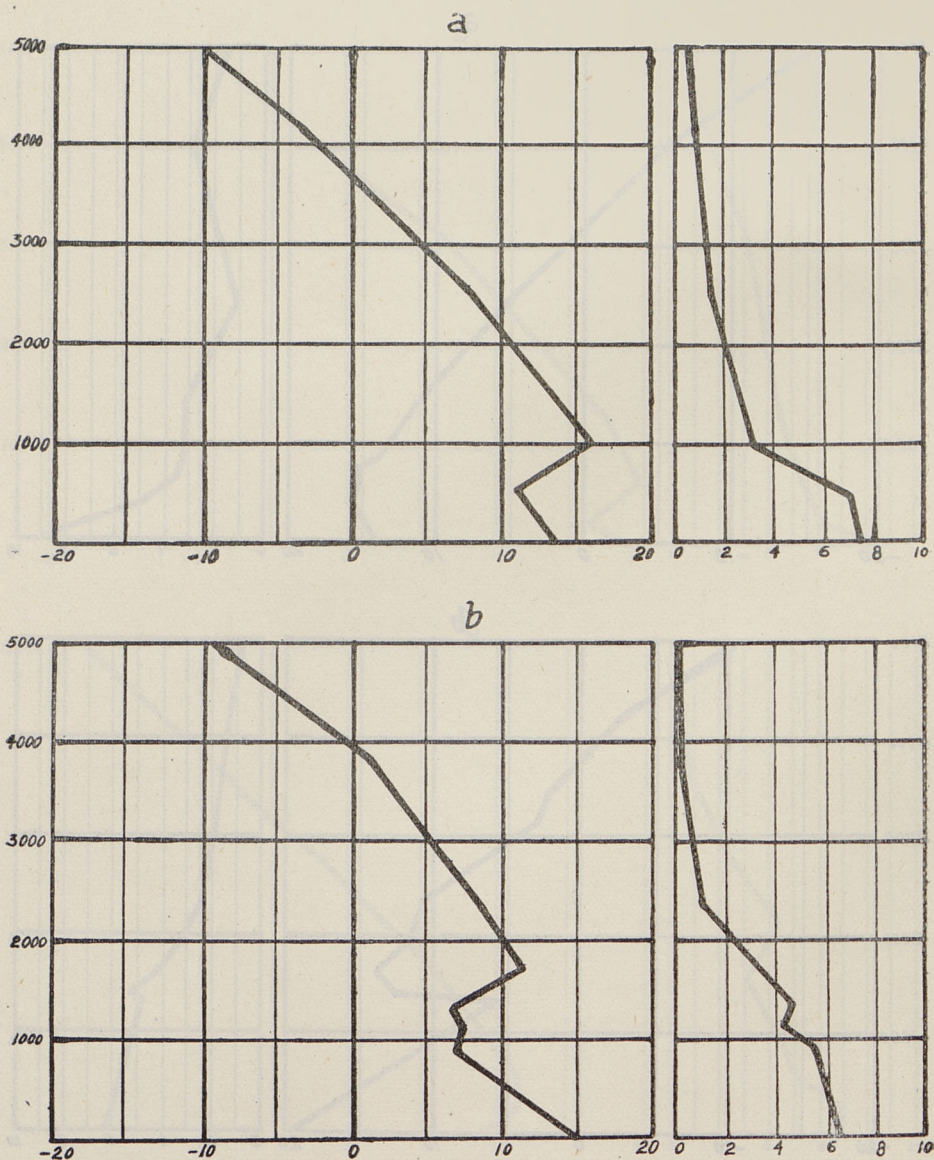


Figura 13

noche anterior justificado por las condiciones meteorológicas de dicho día, la cual ha adquirido notable espesor a causa de la turbulencia. Di-

cha turbulencia puede ser de importancia, pues aunque sobre el suelo hay calmas a los 200 metros de altura existen vientos de consideración.

Para la segunda clase hemos elegido el sondeo del día 9 de febrero de 1940 el cual tenemos representado en la figura 12-a. En él vemos un estrato que alcanza los 800 metros de altura en el que hay una serie de irregularidades en la variación de la temperatura con la altura. También es notable el gran incremento que experimenta el valor de s en las capas inferiores de dicho estrato. En la figura 14 hemos trazado el correspondiente tetragrama, en el cual queda bien especificado el sobrecalentamiento que tiene lugar sobre el suelo.

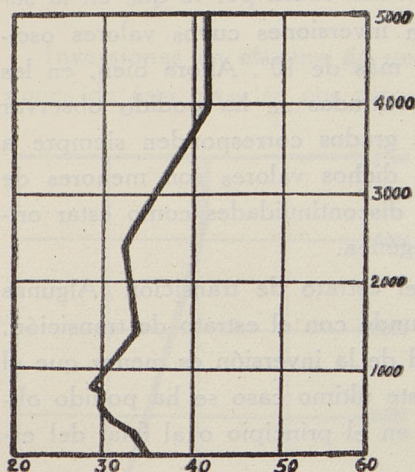


Figura 14

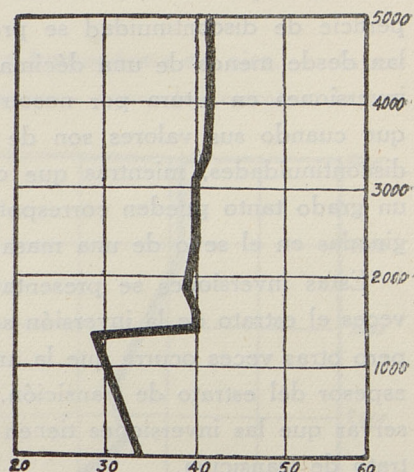


Figura 15

miento que tiene lugar sobre el suelo. Las condiciones especiales de este día no son favorables a un enfriamiento nocturno por radiación como en el caso anterior. En este caso nos encontramos en presencia de un aflujo de aire cálido (más cálido que la superficie del mar) que ha sufrido un sobrecalentamiento en su estrato inferior debido al aumento de humedad originado por la influencia del mar. El enfriamiento que origina la inversión sobre el suelo queda compensado con creces por el mayor contenido de vapor de agua que proviene de la superficie del mar, a consecuencia de lo cual el valor de Θ' queda incrementado.

Inversiones en las superficies de separación de masas distintas de aire (discontinuidades).— Inversiones de este género se nos han

presentado con mucha frecuencia, las cuales se nos revelan cuando en una discontinuidad la masa superior es más cálida que la inferior. En general todas las inversiones de esta clase quedan de manifiesto en el tetagrama, el cual toma forma escalonada (ver fig. 15). Ahora bien, no todas las discontinuidades les corresponde inversiones bien marcadas de temperatura, pues en casos frecuentísimos se nos presentan en los tetagramas discontinuidades marcadísimas a las que únicamente corresponden inversiones muy pequeñas que a veces quedan sustituidas por estratos de gradiente nulo. En estos casos la mayor cantidad de vapor de agua contenido es la causa de que el valor Θ' de la masa superior sea mayor que el de la inferior. Es por otra causa por lo que en la superficie de discontinuidad se presentan inversiones cuyos valores oscilan desde menos de una décima hasta más de 10^0 . Ahora bien, en las inversiones en altura por nosotros encontradas se ha podido observar que cuando sus valores son de varios grados corresponden siempre a discontinuidades, mientras que cuando dichos valores son menores de un grado tanto pueden corresponder a discontinuidades como estar originadas en el seno de una masa homogénea.

Estas inversiones se presentan en el estrato de transición. Algunas veces el estrato de la inversión se confunde con el estrato de transición, pero otras veces ocurre que la amplitud de la inversión es menor que el espesor del estrato de transición. En este último caso se ha podido observar que las inversiones tienen lugar en el principio o al final del estrato de transición.

En la figura 12-b tenemos las curvas correspondientes al sondeo del día 5 de abril de 1940. En este sondeo tenemos registrada la inversión de mayor valor por nosotros observada. En la curva de la humedad específica vemos que la inversión va acompañada de un ligero incremento del valor de s . En la figura 15 tenemos trazado el correspondiente tetagrama que nos muestra claramente la importante discontinuidad existente, siendo notable el poquísimo espesor que presenta el estrato de transición.

Hemos dicho antes que a una inversión en altura cuyo valor sea de varios grados corresponde siempre a una discontinuidad. Vamos a ver ahora un caso, que a primera vista parece que no está de acuerdo con lo que acabamos de decir. Se trata del sondeo que tenemos representado en la figura 13-a, en el cual se observa una importante inversión cuyo valor es de 5°C , mientras que en el correspondiente tetagrama

(ver fig. 16) no aparece discontinuidad alguna en aquella altura a la cual tiene lugar la inversión. Ahora bien, fijándonos en los sondeos efectuados en días anteriores se explica dicha discrepancia. En la figura 13-b tenemos el sondeo de dos días antes (22 de febrero de 1940) en el cual vemos una importante inversión a la que corresponde una discontinuidad que queda bien especificada en el correspondiente tetagrama (ver fig. 17). Por consiguiente esto nos demuestra que la inversión tuvo su origen en una discontinuidad, bien marcada en un principio, pero que más tarde ha desaparecido debido a las variaciones que se han experimentado en los valores de la temperatura equivalente potencial de la masa de aire del estrato inferior, debidas a influencias locales.

Inversiones en el seno de una masa homogénea de aire.— Inversiones de esta clase se nos presentan siempre sobre los estratos de nu-

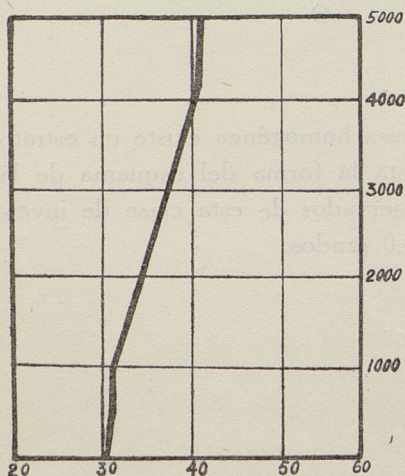


Figura 16

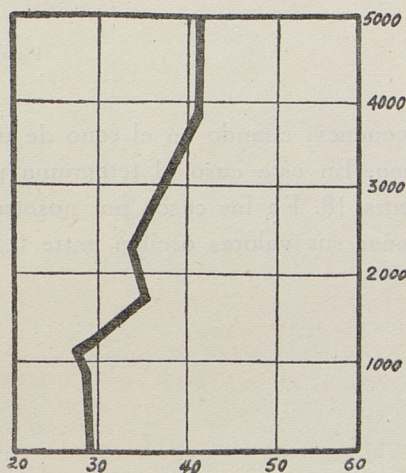


Figura 17

bes o sobre estratos de mayor humedad, de forma que el incremento de temperatura queda compensado por la disminución de la humedad, a causa de lo cual el valor de Θ' experimenta únicamente ligerísimas variaciones.

Hemos podido observar en nuestros sondeos que dicha clase de inversiones tienen un pequeño valor, el cual oscila siempre alrededor de $0,5^{\circ}\text{C}$. Por lo que se refiere a su amplitud, nos hemos encontrado con inversiones de menos de 100 metros hasta otras de más de 700 m.

Como es natural los valores de las inversiones halladas sobre zonas nubosas son iguales o superiores a las «inversiones mínimas», que como se sabe deben existir forzosamente en el límite superior de las nubes.

Otro caso de inversión de este género se nos presenta con cierta

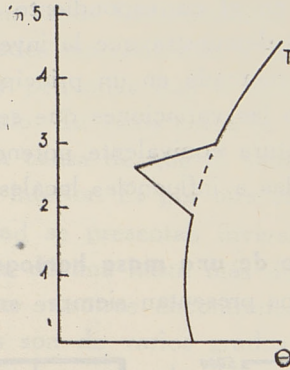


Figura 18

frecuencia cuando en el seno de una masa homogénea existe un estrato seco. En este caso el tetragrama presenta la forma del esquema de la figura 18. En los casos por nosotros observados de esta clase de inversiones sus valores oscilan entre 0,5 y 1,0 grados.

NUEVAS
GRAFICAS
Tel. 33029
Madrid

M01
(460.
FO
A 1